

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 43 38 891 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 43 38 891.4  
㉑ Anmeldetag: 13. 11. 93  
㉒ Offenlegungstag: 1. 9. 94

㉓ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
G 01 F 1/68  
G 01 D 5/10  
H 01 L 49/00  
H 01 L 21/308  
H 01 C 13/00  
// B60R 16/02

DE 43 38 891 A 1

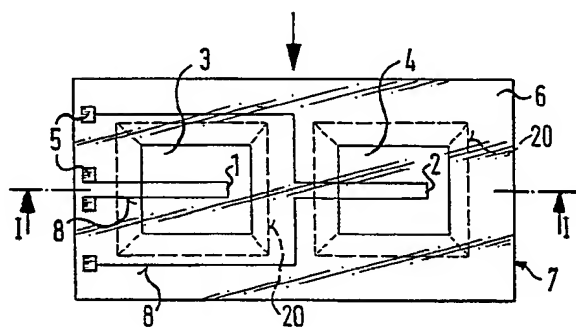
㉔ Innere Priorität: ㉕ ㉖ ㉗  
25.02.93 DE 43 05 797.7

㉘ Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

㉙ Erfinder:  
Kleinhans, Josef, Dipl.-Ing., 71665 Vaihingen, DE;  
Marek, Jiri, Dr.-Ing., 72768 Reutlingen, DE;  
Ziegenbein, Botho, Dipl.-Phys., 72766 Reutlingen,  
DE; Bantien, Frank, Dipl.-Phys., 71254 Ditzingen, DE;  
Findler, Guenther, Dipl.-Ing., 70567 Stuttgart, DE;  
Offenberg, Michael, Dr.-Ing., 72076 Tübingen, DE;  
Reihlen, Eckart, 72766 Reutlingen, DE; Konzelmann,  
Uwe, 71679 Asperg, DE

㉚ Massenflußsensor

㉛ Es wird ein Massenflußsensor vorgeschlagen, bei dem neben einem Meßelement (1) auf einer Membran (3) weiterhin ein Medientemperaturmeßelement (2) auf einer separaten Membran (4) vorgesehen ist. Durch die Anordnung des Medientemperaturmeßelementes (2) auf einer Membran (4) reagiert der vorgeschlagene Massenflußsensor besonders schnell auf Änderungen der Temperatur des strömenden Mediums (Figur 2).



DE 43 38 891 A 1

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Massenflußsensor nach der Gattung des Hauptanspruchs. Aus der US 45 01 144 ist bereits ein Massenflußsensor bekannt, bei dem ein Meßelement auf einer Membran, an der ein Medium vorbeiströmt, angeordnet ist. Das Meßelement weist eine höhere Temperatur als das Medium auf und aus dem Wärmeübergang in das Medium wird die Stärke der Strömung des Mediums gemessen. Weiterhin ist ein Medientemperaturmeßelement auf dem Rahmen, der die Membran hält, angeordnet. Die Temperatur des Meßelementes wird konstant zur Temperatur des Medientemperaturmeßelementes gehalten. Weiterhin ist aus der US 45 01 144 bekannt, die dünne Membran in einem Rahmen aus einkristallinem Silizium aufzuhängen. Aus der DE-OS 41 06 287 sind Verfahren zum Einätzen von Ausnehmungen in Siliziumplatten, die eine 100-Orientierung aufweisen, bekannt. Diese Ausnehmungen können genutzt werden, um Siliziumrahmen, in denen eine Membran aufgespannt ist, herzustellen. Aus der DE-OS 40 03 473 ist ein Verfahren zur Herstellung von Bewegungssensoren bekannt, bei dem in einen Siliziumwafer mit 110-Orientierung eine Ausnehmung eingätzt wird. Auch dieses Ätzverfahren kann genutzt werden, um einen Siliziumrahmen herzustellen, in dem eine Membran aufgespannt ist.

## Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Massenflußsensor mit den kennzeichnenden Merkmalen des Hauptanspruchs hat demgegenüber den Vorteil, daß eine Anpassung des Ausgangssignals des Massenflußsensors an eine Änderung der Temperatur des zu messenden Mediums besonders schnell erfolgt. Fehlmessungen, die sich aufgrund plötzlicher Temperaturänderungen des Mediums ergeben können, werden auf diese Weise zuverlässig unterdrückt. Dies macht den Sensor insbesondere zur Anwendung in Bereichen tauglich, die für andere, langsamere Sensoren problematisch sind, wie beispielsweise die Messung einer vom Motor angesaugten Luftmasse in einem Kraftfahrzeug. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 14 hat gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, daß die Herstellung von Massenflußsensoren, die besonders schnell auf Temperaturänderungen des zu messenden Mediums reagieren, mit besonders einfachen Mitteln möglich ist.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Masseflußsensors und des im Anspruch 14 angegebenen Verfahrens zur Herstellung eines Massenflußsensors möglich. Besonders robuste und einfach herzustellende Sensoren ergeben sich, wenn die Membran in einem Rahmen aus einkristallinem Silizium aufgehängt ist. Um die Erwärmung des Medientemperaturmeßelementes durch das Meßelement zu unterdrücken, wird dabei zwischen dem Meßelement und dem Medientemperaturmeßelement ein isothermes Element angeordnet. Einfache Ausführungsformen dieses isothermen Elements bestehen in einem metallischen Balken oder einem Schlitz oder einem Siliziumbalken mit einer Dicke die geringer als die Dicke des Rahmens ist. Weiterhin kann das isotherme Element als Siliziumbalken in der Dicke

der Siliziumplatte ausgebildet sein, wobei dann jeder Membran eine Ausnehmung zugeordnet ist. Die Ausnehmungen für die Membran können dabei auf der Unterseite der Siliziumplatte ein Rechteck oder ein Sechseck oder eine Parallelogramm bilden. Durch die Ausgestaltung als Sechseck oder Parallelogramm wird der Flächenverbrauch für die Herstellung der Massenflußsensoren verringert. Besonders einfach erfolgt die Kontaktierung von Meßelement und Medientemperaturmeßelement durch Anschlüsse und Leiterbahnen, die auf dem Siliziumrahmen angeordnet sind. Der Einbau des Massenflußsensors in ein Gehäuse gestaltet sich besonders einfach, wenn die Anschlüsse für Meßelement und Medientemperaturmeßelement relativ zum Medienstrom beide auf derselben Seite der Siliziumplatte angeordnet sind.

Ein isothermes Element, das aus einem Siliziumbalken besteht, wird besonders einfach erzeugt, indem vor der Erzeugung der Membranschicht Dotierstoffe in die Oberseite der Siliziumplatte eingebracht werden, wobei die Dotierung und der Ätzprozeß so gewählt sind, daß das dotierte Silizium beim Ätzen nicht geätzt wird. Ein anderes Verfahren zur Herstellung eines isothermen Elements aus Silizium besteht in der Verwendung eines Ätzvorsprungs beim Ätzprozeß. Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß eine zusätzliche Dotierung auf der Oberseite der Siliziumplatte nicht notwendig ist. Für die Einätzung von zwei Ausnehmungen auf der Unterseite der Siliziumplatte können Anordnungen von Rechtecken, Sechsecken oder Parallelogrammen genutzt werden.

## Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 einen Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen Massenflußsensor, Fig. 2 eine Aufsicht auf den Massenflußsensor nach Fig. 1, Fig. 3 in der Aufsicht ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Massenflußsensors, Fig. 4a einen Querschnitt und Fig. 4b eine Aufsicht auf einen weiteren Massenflußsensor, Fig. 5 und Fig. 6 zeigen Querschnitte durch weitere Ausführungsbeispiele von Massenflußsensoren, Fig. 7 bis 10 ein Herstellungsverfahren von Massenflußsensoren wie in Fig. 6 gezeigt, Fig. 11 einen Querschnitt und Fig. 12 eine Aufsicht und Fig. 13 einen weiteren Querschnitt durch einen Massenflußsensor, Fig. 14 die Herstellung der Membranen von Fig. 12, Fig. 15 einen Querschnitt und Fig. 16 eine Aufsicht durch ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Massenflußsensors, und die Fig. 17 bis 19 die Anordnung verschiedener Ausführungsformen der Massenflußsensoren auf Siliziumwafern.

## Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In der Fig. 1 wird ein erfindungsgemäßer Massenflußsensor im Querschnitt und in der Fig. 2 in der Aufsicht gezeigt. Dabei ist auf einer Membran 3 ein Meßelement 1 und auf einer Membran 4 ein Medientemperaturmeßelement 2 angeordnet. Die beiden Membranen 3, 4 sind in einem Rahmen 6 aus einkristallinem Silizium aufgehängt. Zwischen den beiden Membranen 3, 4 ist ein isothermes Element als Siliziumbalken 13 gelegen. Der Massenflußsensor ist aus einer Siliziumplatte 7 durch Einbringen der beiden Ausnehmungen 16 in die Rückseite der Siliziumplatte 7 hergestellt worden. Die Aus-

nehmungen 16 reichen bis zu einer Membranschicht 9, die auf der Oberseite der Siliziumplatte 7 abgeschieden ist. Auf dem Rahmen 6 sind Anschlüsse 5 gelegen. Durch die Anschlüsse 5 werden das Meßelement 1 und das Medientemperaturmeßelement 2 mittels Leiterbahnen 8 kontaktiert. Über die Anschlüsse 5 kann ein elektrischer Kontakt zu anderen hier nicht gezeigten Schaltkreisen hergestellt werden.

Durch den Pfeil wird ein Massenstrom, beispielsweise ein Luftstrom, angedeutet, der über die Oberfläche des Massenflußsensors streicht. Das Meßelement 1 wird durch einen elektrischen Strom erwärmt, der durch die Anschlüsse 5 und die Leiterbahnen 8 an das Meßelement 1 angelegt wird. Weiterhin wird der elektrische Widerstand des Meßelementes 1 gemessen. Das Widerstandselement 1 ist dabei so ausgelegt, daß sich der Widerstand mit der Temperatur ändert. Das Meßelement 1 wird durch das vorbeiströmende Medium abgekühlt. Das Ausmaß dieser Abkühlung ist dabei abhängig vom Massenstrom des vorbeiströmenden Mediums. Bei konstant gehaltenem Heizstrom des Meßelementes 1 kann dabei durch die Messung des Widerstandes des Meßelementes 1 bestimmt werden, wie stark die Strömung des vorbeiströmenden Mediums ist. Dieses Meßelement 1 stellt nur eine mögliche Form eines solchen Massenflußsensors dar. Ebenso gut ist es möglich, ein separates Heizelement und ein Temperaturmeßelement auf der Membran 3 anzuordnen oder, wie in der US 45 01 144 gezeigt, ein Heizelement mit zwei oder mehr Meßelementen zu versehen. All diesen Massenflußsensoren liegt das Prinzip zugrunde, daß die Wärmemenge, die durch das vorbeiströmende Medium vom Meßelement abgeführt wird, abhängig zur Masse des vorbeiströmenden Mediums ist. Mit einer Änderung der Temperatur des vorbeiströmenden Mediums ist daher auch eine Änderung des Signals des Meßelements verbunden. Alle Massenflußsensoren, die ein Meßelement aufweisen, das den Wärmeübergang in das vorbeiströmende Medium ausnutzt, weisen daher zusätzlich einen Medientemperaturmeßfühler 2 auf. Dieser Medientemperaturmeßfühler wird dafür verwendet, den Einfluß der Temperatur des Mediums auf das Meßsignal zu unterdrücken. In der Regel wird dies dadurch erreicht, daß das Meßelement 1 eine konstante Übertemperatur aufweist, d. h. die Temperatur des Meßelements 1 ist gegenüber der Temperatur des Mediums immer um einen bestimmten konstanten Betrag erhöht. Ebenso gut kann jedoch die Übertemperatur des Meßelements gegenüber der Medientemperatur variieren, wobei dann der Meßwert des Medientemperaturmeßelements 2 genutzt wird um den Meßwert des Meßelements 1 zu korrigieren. Dabei werden, wie beispielsweise in der US 45 01 144 gezeigt wird, die Medientemperaturmeßelemente auf dem Rahmen angeordnet. Nachteilig an dieser Anordnung des Medientemperaturmeßelementes auf dem Rahmen ist jedoch, daß das Medientemperaturmeßelement nur relativ langsam auf Änderungen der Temperatur des Mediums reagiert. Für spezielle Anwendungen, beispielsweise beim Einsatz in Kraftfahrzeugen, sind an die Ansprechzeit des Medientemperaturfühlers besonders hohe Anforderungen zu stellen. Wenn z. B. ein Kraftfahrzeug in der kalten Jahreszeit aus einer beheizten Garage gefahren wird, kann es aufgrund des hohen und schnellen Lufttemperaturwechsels bei der Verwendung träger Massenfluß- und Medientempersensoren kurzfristig zu krassen Fehlmessungen der angesaugten Luftmasse kommen. Ein anderes Beispiel ist beispielsweise ein Kraftfahrzeug mit einem

auf hohem Niveau warmgelaufenen Motor, welches abrupt z. B. an einer Ampel zum stehen gebracht wird. In diesem Fall heizt sich die Luft im Ansaugrohr fast schlagartig auf die hohe Umgebungstemperatur des Motors auf, was ebenfalls wieder kurzfristig zu einer Fehlmessung des Massenstroms führt, wenn der Massenflußsensor nicht hinreichend schnell auf die Veränderung der Temperatur der Luft reagiert. Die Reaktionszeit des hier gezeigten Medientemperaturmeßelementes 2 ist besonders gering, da das Medientemperaturmeßelement 2 ebenfalls auf einer dünnen Membran 4 angeordnet ist. Die dünne Membran 4 weist nur eine geringe Masse auf, so daß die Membran 4 durch das über die Membran 4 strömende Medium besonders schnell erwärmt oder abgekühlt wird. Ebenso schnell wird infolgedessen das Medientemperaturmeßelement 2 erwärmt oder abgekühlt. Beide Membranen 3, 4 sind so ausgelegt, daß das Meßelement 1 oder das Medientemperaturmeßelement 2 thermisch möglichst gut vom Rahmen 6 entkoppelt sind und thermisch möglichst gut mit dem Medienstrom gekoppelt sind. Durch die thermische Entkopplung von Rahmen 6 und die gute thermische Anbindung an das Medium, wird erreicht, daß sowohl Meßelement 1 wie auch Medientemperaturmeßelement 2 besonders schnell reagieren. Dies wird dadurch erreicht, daß die Membranen 3, 4 in der Regel besonders dünn sind (in der Größenordnung von 1 Mikrometer) und weiterhin aus einem Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit und einer geringen spezifischen Wärmekapazität bestehen. Besonders einfach wird dies durch dünne Membranen aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid erreicht, die sich zudem besonders einfach auf der Oberfläche von Siliziumplatten 7 herstellen lassen. Das hier gezeigte Prinzip einer guten thermischen Ankopplung des Meßelements 1 und des Medientemperaturmeßelements 2 an das vorbeiströmende Medium ist jedoch auch auf andere Membranmaterialien übertragbar.

Wichtig ist weiterhin, daß das Meßelement 1 und das Medientemperaturmeßelement 2 durch ein isothermes Element, hier als Siliziumbalken 13, getrennt sind. Wären nämlich das Meßelement 1 und das Medientemperaturmeßelement 2 auf ein und derselben Membran angeordnet, so würde durch das Meßelement 1, das ja erwärmt werden muß, das Medientemperaturmeßelement 2 mit erwärmt werden. Das Medientemperaturmeßelement 2 würde in diesem Fall somit nicht mehr die Temperatur des Mediums messen, sondern einen Zwischenwert zwischen Medientemperatur und Temperatur des Meßelementes 1.

In den Fig. 1 und 2 sind mit 20 die Ränder der Ausnehmungen 16 auf der Unterseite der Siliziumplatte 7 bezeichnet. Wie in der Aufsicht in Fig. 2 zu erkennen ist, ist die Fläche, die innerhalb der Ränder 20 der Ausnehmungen 16 liegt, wesentlich größer als die Fläche, die für die Membranen 3, 4 benötigt wird. Die Ausnehmungen 16 sind durch anisotropes Siliziumätzen in die Siliziumplatte 7 eingebracht worden. Bei der Siliziumplatte 7 handelt es sich um eine Siliziumplatte, die eine 100-Fläche auf der Oberseite und Unterseite aufweist. In solche 100-orientierten Siliziumplatten 7 können Ausnehmungen mit einer in der Aufsicht rechteckigen Form eingebracht werden, indem Ätzlösungen verwendet werden, die die 111-Kristallebenen besonders langsam ätzen. Solche Ätzverfahren sind beispielsweise in der DE-OS 41 06 287 beschrieben.

In Fig. 2 sind die beiden Membranen 3, 4 derart angeordnet, daß sie relativ zur Strömungsrichtung des Me-

diums nebeneinandergelegen sind. Die Anschlüsse 5 sind nur auf einer Seite der Siliziumplatte 7 angeordnet. Dadurch wird erreicht, daß bei einem Einbau des Massenflusssensors in ein Gehäuse die Kontaktierung der Anschlüsse 7 ausschließlich von einer Seite erfolgt. Diese Anordnung der Anschlüsse 5 ist daher besonders günstig für den Einbau des Massenflusssensors in ein Gehäuse.

In der Fig. 3 wird eine andere Anordnung der Membranen 3, 4 gezeigt. Die Membranen sind derart angeordnet, daß sie im Medienstrom hintereinander liegen. Dabei ist das Medientemperaturmeßelement 2 vor dem Meßelement 1 gelegen, um zu verhindern, daß es durch die durch das Meßelement verursachte Erwärmung des Medienstromes zu einer Beeinflussung des Medientemperaturmeßelementes 2 durch das Meßelement 1 kommt. Die Anschlüsse 5 sind derart auf dem Rahmen 6 angeordnet, daß die Anschlüsse 5 relativ zur Strömungsrichtung des Mediums neben den Membranen 3, 4 liegen. Durch diese Anordnung der Anschlüsse 5 neben den Membranen 3, 4 ist es möglich, die Anschlüsse 5 abzudecken, ohne daß es dabei zu einer Störung des Flusses des Mediums kommt. Bereits geringe Erhebungen, die auf der Oberfläche angeordnet sind, führen in den in der Strömungsrichtung abwärts gelegenen Bereichen zu Wirbeln und so zu nicht reproduzierbaren Strömungszuständen. Die Anschlüsse 5, auf denen Drähte oder ähnliches befestigt werden, um das Meßelement 1 und das Medientemperaturmeßelement 2 zu kontaktieren, sollten daher relativ zur Strömungsrichtung neben dem Meßelement 1 bzw. dem Medientemperaturmeßelement 2 gelegen sein.

In der Fig. 4a ist ein Querschnitt und in der Fig. 4b eine Aufsicht auf ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Massenflusssensors gezeigt. In einem Rahmen 6 sind zwei Membranen 3, 4 aufgespannt. Auf der Membran 3 ist ein Meßelement 1 gelegen, auf der Membran 4 ist ein Medientemperaturmeßelement 2 gelegen. Die beiden Membranen 3, 4 sind durch ein isothermes Element getrennt, das als metallischer Balken 10 ausgebildet ist. Ebenso gut sind andere Materialien mit guter Wärmeleitung, wie beispielsweise Polysilizium, verwendbar. Der Massenflusssensor ist wieder aus einer Siliziumplatte 7 mit einer 100-Orientierung herausstrukturiert, indem auf der Oberseite der Siliziumplatte 7 eine Membranschicht 9 erzeugt wurde und auf der Membranschicht 9 Strukturen für das Meßelement 1 und das Medientemperaturmeßelement 2 niedergelegt wurden. Durch anisotropes Ätzen der Siliziumplatte 7 ausgehend von der Rückseite wurde die Ausnehmung 19 eingebracht. Weiterhin wurde auf der Oberseite der Siliziumplatte 7 auf der Membranschicht 9 eine Struktur für den metallischen Balken 10 erzeugt.

Der metallische Balken 10 dient als isothermes Element, d. h. er dient dazu, einen substantiellen Wärmefluß vom Meßelement 1 zum Medientemperaturmeßelement 2 zu unterbinden. Da die beiden Membranen 3, 4 wieder aus einem dielektrischen Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität ausgebildet sind, reicht der Wärmefluß durch die Membran 3 vom Meßelement 1 nicht aus, den metallischen Balken 10 der im thermischen Kontakt mit dem Rahmen 6 steht, nennenswert zur erwärmen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, daß Metalle in der Regel eine sehr große Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Der metallische Balken 10 weist somit immer näherungsweise die Temperatur des Siliziumrahmens 6 auf.

In der Fig. 5 ist der Querschnitt durch ein weiteres

Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Massenflusssensors gegeben. In einem Rahmen 6 aus einkristallinem Silizium sind zwei Membranen 3, 4 aufgespannt, wobei auf der Membran 3 ein Meßelement 1 und auf der Membran 4 ein Medientemperaturmeßelement 2 gelegen ist. Zwischen den beiden Membranen 3, 4 ist als isothermes Element ein Schlitz 11 angeordnet. Eine Aufsicht auf den Massenflusssensor nach Fig. 5 entspricht im wesentlichen der Aufsicht, wie sie in Fig. 4b gezeigt wird, wobei dabei jedoch der metallische Balken 10 durch den Schlitz 11 ersetzt wird. Die Herstellung des Massenflusssensors nach Fig. 5 erfolgt in äquivalenter Weise wie die Herstellung des Massenflusssensors nach Fig. 4a und b. Auf einer Siliziumplatte 7 werden wieder eine Membranschicht und Strukturen für das Meßelement 1 zum Medientemperaturmeßelement 2 erzeugt. Durch Einbringen der Ausnehmung 19 wird der Rahmen 6 aus der Siliziumplatte 7 herausgeätzt. Das Einbringen des Schlitzes 11 kann vor oder nach dem Ätzen der Ausnehmung 19 erfolgen.

Der Schlitz 11 dient wieder als isothermes Element, d. h. er unterdrückt einen Wärmefluß vom Meßelement 1 zum Medientemperaturmeßelement 2. Zum einen ist nämlich das Wärmeleitvermögen des Schlitzes 11 sehr gering, zum anderen wird durch die Strömung das Medium im Schlitz 11 permanent ausgetauscht, so daß der Schlitz 11 immer die Temperatur des Mediums aufweist. Die Strukturierung des Schlitzes 11 in der Membranschicht 9 kann vor oder nach der Ätzung der Ausnehmung 19 erfolgen.

In der Fig. 6 wird ein weiteres Ausführungsbeispiel des Massenflusssensors gezeigt, der bis auf die Ausgestaltung des isothermen Elements den Ausführungsbeispielen nach Fig. 4a, 4b und 5 entspricht. Als isothermes Element ist zwischen den beiden Membranen 3, 4 ein Siliziumbalken 12 angeordnet. Der Siliziumbalken 12 ist unterhalb der Membranschicht 9 angeordnet und ist mit dem Rahmen 6 verbunden. Durch diese Verbindung wird erreicht, daß der Siliziumbalken 12 annähernd die Temperatur des Rahmens 6 aufweist, da die thermische Leitfähigkeit von Silizium hoch ist.

Zur Herstellung des Massenflusssensors nach Fig. 6 mit dem Siliziumbalken 12 sind verschiedene Methoden denkbar. Zum einen können vor der Herstellung der Membranschicht 9 auf der Siliziumplatte 7 Dotierstoffe in die Oberseite der Siliziumplatte 7 eingebracht werden, wobei die geometrische Form des dotierten Siliziums dabei der geometrischen Form des Siliziumbalkens 12 entspricht. Dabei werden die Dotierstoffe und der Ätzprozeß für die Ausnehmung 19 derart gewählt, daß das dotierte Silizium beim Ätzen der Ausnehmung 19 nicht geätzt wird. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, daß die Siliziumplatte 7 eine p-Dotierung und der Siliziumbalken 12 eine starke p<sup>+</sup>-Dotierung aufweisen und die Ätzung der Ausnehmung 19 mit einer basischen Ätzlösung erfolgt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, daß die Siliziumplatte 7 eine p-Dotierung und der Siliziumbalken 12 eine n-Dotierung aufweist. Beim Ätzprozeß der Ausnehmung 19 mit einer basischen Ätzlösung wird eine elektrische Spannung zwischen dem n-dotierten Balken 12 und dem p-dotierten Substrat 7 angelegt, die den Balken 12 vor dem Angriff der Ätzlösung schützt.

Eine weitere Methode, ein isothermes Element als Siliziumbalken 12 nach Fig. 6 herzustellen, bei dem der Siliziumbalken 12 die gleiche Dotierung aufweist, wie die Siliziumplatte 7, wird in den Fig. 7 bis 10 beschrieben.

In der Fig. 7 ist eine Siliziumplatte 7 gezeigt, auf deren Oberseite eine Membranschicht 9 hergestellt ist. Die Membranschicht 9 besteht dabei vorzugsweise aus Siliziumnitrid oder Siliziumoxid. Auf die Membranschicht 9 ist ein Meßelement 1 und ein Medientemperaturmeßelement 2 aufgebracht. Auf der Unterseite der Siliziumplatte 7 sind zwei Ätzmasken 30, 31, die sich teilweise überlappen, aufgebracht. Der Bereich der Siliziumplatte 7, aus dem der Rahmen 6 herausstrukturiert wird, ist von beiden Ätzmasken 30, 31 bedeckt. Der Bereich der Siliziumplatte 7, aus dem der Balken 12 herausstrukturiert wird, ist nur von der einen Ätzmaske 30 bedeckt. Die Ätzmaske 30 kann unabhängig von der Ätzmaske 31 entfernt werden. Dabei können beispielsweise sowohl die Ätzmaske 30 wie auch die Ätzmaske 31 aus Siliziumoxid bestehen. Wenn die Siliziumplatte 7 mit den beiden Ätzmasken 30, 31 in eine Ätzlösung getaucht wird, die Siliziumoxid ätzt, so wird zunächst die Ätzmaske 30 entfernt. Erst danach, wenn die Ätzmaske 31 freigelegt ist, wird die Ätzmaske 31 angegriffen. Durch die teilweise Übereinanderanordnung der Ätzmasken 30 und 31 kann somit erreicht werden, daß während eines Ätzprozesses Bereiche der Siliziumplatte 7 zunächst mit einer Ätzmaske bedeckt sind und im weiteren Verlauf der Ätzung nicht mehr mit einer Ätzmaske bedeckt sind. Die Nutzung dieser mehrschichtigen Ätzmaske zur Strukturierung der Siliziumplatte 7 wird in den weiteren Fig. 8 bis 10 beschrieben. Weiterhin ist es auch möglich, daß die Ätzmasken 30, 31 aus anderen Materialien bestehen, die selektiv gegeneinander ätzbar sind. Denkbar wäre es beispielsweise, daß die Ätzmaske 31 aus Siliziumoxid und die Ätzmaske 30 aus Siliziumnitrid besteht.

In der Fig. 8 wird ein erster Ätzschritt zur Bearbeitung der Siliziumplatte 7 gezeigt. Bei diesem ersten Ätzschritt wird die Unterseite der Siliziumplatte 7 für eine begrenzte Zeit einer basischen Ätzlösung ausgesetzt und somit die Ausnehmungen 32 in die Rückseite der Siliziumplatte 7 eingeätzt. Der Boden der Ausnehmungen 32 wird wie die Oberfläche der Siliziumplatte 7 von einer 100-Ebene des Siliziumeinkristalls gebildet. Da die Ränder der Ätzmasken 30 und 31 auf jeweils einer 111-Kristallebene gelegen sind, die einen Winkel von  $54,74^\circ$  zur Oberfläche der Siliziumplatte 7 einnehmen, werden die Seitenwände der Ausnehmungen 32, die einen Ätzvorsprung bilden, durch 111-Kristallebenen gebildet.

In der Fig. 9 ist die erste Ätzmaske 30 von der Rückseite der Siliziumplatte 7 entfernt. Die Bereiche der Siliziumplatte 7, aus denen der Rahmen 6 herausstrukturiert wird, sind nach wie vor durch die Ätzmaske 31 gegen den Angriff einer Ätzlösung geschützt. Zwischen den beiden Ausnehmungen 32 ist nun der Bereich der Siliziumplatte 7, aus dem der Siliziumbalken 12 herausstrukturiert wird, nicht mehr gegen den Angriff einer Ätzlösung geschützt. Die Grundfläche dieses Bereiches wird von einer 100-Ebenen des Siliziumeinkristalls gebildet, ebenso wird der Boden der Ausnehmungen 32 von einer 100-Ebene des Siliziumeinkristalls gebildet. Wird nun die Siliziumplatte 7, wie sie in der Fig. 9 gezeigt wird, weiterhin auf ihrer Rückseite mit einer Silizium abtragenden Ätzlösung beaufschlagt, so werden die Ausnehmungen 32 und der mittlere Bereich der Siliziumplatte 7, aus dem der Siliziumbalken 12 herausstrukturiert wird, mit der gleichen Geschwindigkeit in die Tiefe geätzt. Der Ätzvorsprung der Ausnehmungen 32 bleibt dabei erhalten.

In der Fig. 10 ist die Siliziumplatte 7 aus der Fig. 9 gezeigt, nachdem die Ätzung in einem zweiten Ätz-

schrift weiter fortgesetzt wurde und gerade zu dem Zeitpunkt, zu dem der Ätzvorsprung 32 die Membranschicht 9 erreicht, abgebrochen worden ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die Siliziumplatte 7 in den Bereichen, die in der Fig. 9 einen Ätzvorsprung 32 aufwiesen, vollständig bis zur Membranschicht 9 weggeätzt. Lediglich der Siliziumbalken 12, der in der Fig. 8 noch von der ersten Ätzmaske 30 bedeckt war, ist noch nicht vollständig weggeätzt. Wenn die Ätzung der Fig. 10 weiter fortgesetzt würde, so würde sich die Dicke des Siliziumbalkens 12 weiter verringern, bis die Ätzung nach dem Verschwinden des Balkens endgültig zum Stillstand kommt. Die Funktion der Fig. 10 entspricht bis auf die noch auf der Rückseite der Siliziumplatte 7 verbliebenen Ätzmaske 31 dem Massenflußsensor wie er in der Fig. 6 gezeigt wird.

In der Fig. 11 wird ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Massenflußsensors im Querschnitt gezeigt. In der Fig. 12 wird eine Unteransicht des Massenflußsensors nach Fig. 11 gezeigt. In der Fig. 13 wird ein weiterer Querschnitt durch den Massenflußsensor der Fig. 11 und 12 gezeigt. In der Fig. 11 wird eine Siliziumplatte 7 mit einer aufgetragenen Membranschicht 9 gezeigt, in die ausgehend von der Rückseite Ausnehmungen 17 eingebracht sind. Durch die Ausnehmungen 17 wird aus der Siliziumplatte 7 ein Rahmen 6, in dem zwei Membranen 3, 4 aufgespannt sind, gebildet. Zwischen den beiden Membranen 3, 4 ist ein isothermes Element, hier als Siliziumbalken 14 in der Dicke der Siliziumplatte 7 gelegen. Auf der Membran 3 ist ein Meßelement 1 und auf der Membran 4 ein Medientemperaturmeßelement 2 gelegen. Aus Gründen der Vereinfachung wurde auf die Darstellung des Meßelementes 1 und des Medientemperaturmeßelementes 2 in den Fig. 12 und 13 verzichtet. Die geometrische Form der Ausnehmungen 17 wird durch die Unteransicht der Siliziumplatte 7 in der Fig. 12 dargestellt. Die Ränder 101 bis 106 der Ausnehmungen 17 weisen auf der Unterseite der Siliziumplatte 7 eine sechseckige Form auf, wobei der erste Rand 101 einen Winkel von  $90^\circ$  zum zweiten Rand 102 bildet, der zweite Rand 102 einen Winkel von  $135^\circ$  zum dritten Rand 103 bildet, der dritte Rand 103 einen Winkel von  $135^\circ$  zum vierten Rand 104 bildet, der vierte Rand 104 einen Winkel von  $90^\circ$  zum fünften Rand 105 bildet, der fünfte Rand einen Winkel  $135^\circ$  zum sechsten Rand 106 bildet und der sechste Rand 106 einen Winkel von  $135^\circ$  zum ersten Rand 101 bildet. Entsprechend bilden die Membranen 3, 4 ebenfalls eine sechseckige Form, wobei jedoch die Längenverhältnisse zwischen den einzelnen Seiten nicht die gleichen wie die der Ränder 101 bis 106 der Ausnehmungen 17 sind. Weiterhin ist in der Fig. 12 die Schnittlinie II-II eingezeichnet, entlang der die Fig. 11 den Querschnitt durch den Massenflußsensor zeigt.

In der Fig. 13 ist ein Schnitt durch den Massenflußsensor entlang der Linie III-III der Fig. 12 gezeigt. Die Fig. 13 zeigt einen Schnitt durch die Membran 4 mit der dazugehörigen Ausnehmungen 17 der Siliziumplatte 7.

Die Oberfläche der Siliziumplatte 7 weist wie in den Fig. 11 und 13 dargestellt eine 100-Orientierung auf. Wie in der Fig. 11 zu erkennen ist, liegen jeweils zwei Ränder 103, 106 der Ausnehmungen 17 auf jeweils einer 100-Ebene des Siliziumeinkristalls der Siliziumplatte 7, die einen Winkel von  $90^\circ$  zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte 7 aufweisen. Von diesen Rändern 103, 106 erstrecken sich die Seitenwände der Ausnehmungen 17 senkrecht bis zur Membranschicht 9 bzw. zu den Membranen 3, 4. Vier Ränder 101, 102, 104, 105 der Ausneh-



mungen 17 liegen auf jeweils einer 111-Richtung des Siliziumeinkristalls der Siliziumplatte 7, wobei diese 111-Kristallebenen einen Winkel von ca.  $54,74^\circ$  zur 100-Oberfläche des Siliziumeinkristalls der Siliziumplatte 7 einnehmen. Entsprechend weisen die Seitenwände der Ausnehmungen 17 die sich an diese Ränder 101, 102, 104, 105 anschließen einen Winkel von  $54,74^\circ$  zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte 7 und folglich auch zur Membranschicht 9 bzw. den Membranen 3, 4 auf. Der Querschnitt in der Fig. 11 zeigt die Seitenwände der Ausnehmungen 17, die einen rechten Winkel zur Membranschicht 9 bilden. Der Querschnitt in Fig. 13 zeigt eine Seitenwand einer Ausnehmung 17 die einen Winkel von  $54,74^\circ$  zur Membranschicht aufweist und eine Seitenwand die rechtwinklig zur Membranschicht 9 ist.

Der Massenflußsensor der Fig. 11 bis 12 funktioniert in äquivalenter Weise wie die Massenflußsensoren der Fig. 1 bis 6. Das isotherme Element, welches einen Wärmefluß von der Membran 3 des Meßelements 1 zur Membran 4 des Medientemperaturmeßelements 2 unterbindet wird hier durch den Siliziumbalken 14 gebildet. Der Siliziumbalken 14 ist dabei in der Dicke der Siliziumplatte 7 ausgebildet, und ist mit dem Rahmen 6 verbunden. Durch das gute Wärmeleitvermögen von Silizium und die große Dicke des Balkens 14 ist dabei sichergestellt, daß der Balken 14 immer dieselbe Temperatur aufweist wie der Rahmen 6.

In der Fig. 14 ist dargestellt, wie die Ausnehmungen 17 der Fig. 11 bis 13 in die Siliziumplatte 7 eingätzt werden. Dieses Ätzverfahren ist bereits aus der DE-OS 41 06 287 bekannt. In der Fig. 14 wird eine sechseckige Ätzmaske 50 gezeigt, die zur Ätzung der Ausnehmungen 17 mit den Rändern 101 bis 106 verwendet wurde. Weiterhin wird die Ausrichtung der Ätzmaske 50 bzw. der Ränder 101 bis 106 zur Siliziumeinkristalls gezeigt. Der Bereich, der innerhalb der Ätzmaske 50 liegt, stellt den Bereich des Siliziums dar, der nicht durch die Ätzmaske 50 bedeckt ist. Dieser Bereich wird von einer 100-Kristallfläche des Siliziumeinkristalls gebildet, und wird von der Ätzlösung, die in der Regel eine basische Ätzlösung ist, mit einer bestimmten Ätzgeschwindigkeit in die Tiefe geätzt. Die Seitenwände der Ätzmaske 50, die parallel zu den Rändern 103 und 106 der Ausnehmungen 17 sind, werden dabei mit der gleichen Geschwindigkeit unterätzt wie die Ätzung in die Tiefe erfolgt. In dieser Richtung liegen nämlich, wie in der Fig. 14 gezeigt, 100-Ebenen des Siliziumeinkristalls. Die Ätzmaske 50 wird in die Richtungen, die parallel zu den Rändern 101, 102, 104, 105 der Ausnehmungen 17 sind, nicht bzw. nur minimal unterätzt, da diese auf jeweils einer 111-Ebene des Siliziumeinkristalls gelegen sind, die von basischen Ätzlösungen nur vernachlässigbar geätzt werden. In der Fig. 14 sind die Kristallebenen durch Einheitsvektoren auf den Kristallflächen angegeben. Da die Einheitsvektoren der 100-Ebene und der 100-Ebenen in der Papierebenen liegen, weisen diese die normierte Länge 1 auf.

Bei dem hier vorgestellten Ätzverfahren für die Ausnehmungen 17 handelt es sich um ein Ätzverfahren, bei dem die geometrischen Abmessungen der Ausnehmungen 17 teilweise durch die ätzstoppende Wirkung der 111-Kristallebenen und teilweise durch die Zeitdauer der Ätzungen definiert werden. Wird nämlich die Ätzung der Ausnehmungen 17 fortgesetzt, nachdem die Ausnehmungen 17 die Membranschicht 9 erreicht haben, so wird die Breite des Siliziumbalkens 14 verringert bzw. die Breite der Ausnehmungen 17 in dieser Rich-

tung vergrößert. Erfahrungsgemäß lassen sich solche Ätzprozesse mit großer Präzision beherrschen, so daß der Siliziumbalken 14 mit großer Reproduzierbarkeit hergestellt werden kann.

In den Fig. 15 und 16 wird ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Massenflußsensors gezeigt. Die Fig. 15 zeigt einen Querschnitt entlang der Linie IV-IV der Fig. 16. Die Fig. 16 zeigt eine Aufsicht auf die Unterseite des Massenflußsensors wie er in der Fig. 15 gezeigt wird. In der Fig. 15 ist eine Siliziumplatte 7 mit einer auf der Oberseite aufgetragenen Membranschicht 9 gezeigt, in deren Rückseite zwei Ausnehmungen 18 eingebracht sind. Die Ausnehmungen 18 reichen bis zur Membranschicht 9 und bilden so zwei Membranen 3, 4. Auf der einen Membran 3 ist ein Meßelement 1 und auf der anderen ein Medientemperaturmeßelement 2 angeordnet. Auf die Darstellung des Meßelements 1 und des Medientemperaturmeßelements 2 wurde in der Fig. 16 zur Vereinfachung der Darstellung verzichtet. Wie in der Fig. 16 zu erkennen ist, bilden die Ränder 201 bis 204 der Ausnehmungen 18 auf der Unterseite der Siliziumplatte 7 jeweils ein Parallelogramm.

Dabei weist der erste Rand 201 einen Winkel von ca.  $109,5^\circ$  zum zweiten Rand 202 auf, der zweite Rand 202 weist einen Winkel von ca.  $70,5^\circ$  zum dritten Rand 203 auf, der dritte Rand 203 weist einen Winkel von ca.  $109,5^\circ$  zum vierten Rand 204 auf und der vierte Rand 204 weist einen Winkel von ca.  $70,5^\circ$  zum ersten Rand 201 auf. Wie im Querschnitt in der Fig. 15 zu erkennen ist, sind die Wände der Ausnehmungen 18 senkrecht zur Oberfläche der Siliziumplatte 7 orientiert. Bei der Siliziumplatte 7 handelt es sich um eine einkristalline Siliziumplatte, deren Oberfläche von einer 110-Ebene des Siliziumeinkristalls gebildet wird. Zu dieser 110-Oberfläche sind 111-Ebenen des Siliziumkristalls senkrecht ausgerichtet, die hier zur Ätzung der Ausnehmungen 18 genutzt werden. Die 111-Kristallebenen, die senkrecht zur 110-Oberfläche der Siliziumplatte 7 sind, weisen zueinander einen Winkel von  $109,5^\circ$  (äußerer Winkel) bzw.  $70,5^\circ$  innerer Winkel auf. Durch Nutzung dieser 111-Kristallebenen, die senkrecht zur 110-Oberfläche der Siliziumplatte 7 sind, lassen sich somit Ausnehmungen 18 in die Siliziumplatte 7 einätzen, die senkrechte Seitenwände aufweisen und einen parallelogrammförmigen Grundriß haben. Das Einätzen solcher parallelogrammartiger Ausnehmungen in 110-orientierte Siliziumplatten wird beispielsweise auch in der DE-OS 40 03 473 beschrieben. In den Ecken der parallelogrammförmigen Ausnehmungen 18 bilden sich noch weitere Kristallwände 60 aus, die nicht rechtwinklig zur 110-Oberfläche der Siliziumplatte 7 sind. Die Herstellung des in den Fig. 15 und 16 gezeigten Massenflußsensors erfolgt in äquivalenter Weise wie zu den Fig. 1, 2 und 11 bis 13 beschrieben. Die Ätzmaske für die Ätzungen für die Ausnehmungen 18 ist dabei so auf der Rückseite der Siliziumplatte 7 so angeordnet, daß der von den Rändern 201 bis 204 umschlossene Bereich der Ätzlösung ausgesetzt wird. Eine Verlängerung der Ätzzeit ist bei dieser Ätzung unkritisch, da bei fertiggeätzter Ausnehmung 18 ausschließlich 111-Kristallebenen offenliegen, die nur unwesentlich geätzt werden. Die beiden Ausnehmungen 18 können daher auch besonders eng nebeneinander angeordnet werden, da die Breite der isothermen Struktur, die als Siliziumbalken 15 ausgebildet ist, sehr präzise durch die Ätzmaske hergestellt werden kann.

Die Funktion des hier gezeigten Massenflußsensors entspricht wieder den vorherigen Beschreibungen der

anderen Massenflußsensoren.

Es versteht sich von selbst, daß die Massenflußsensoren der Fig. 1 bis 16 in der Massenfertigung durch parallele Bearbeitung einer Vielzahl von Massenflußsensoren, die auf Siliziumwafern angeordnet sind, bearbeitet werden. Dabei werden die beschriebenen Herstellungsprozesse parallel auf eine Vielzahl von Massenflußsensoren angewendet, und erst in einem letzten Herstellungsschritt werden die Siliziumwafer durch Einbringen von Schnitten in einzelne Massenflußsensoren aufgeteilt. Die verschiedenen in den Fig. 1 bis 16 beschriebenen Massenflußsensoren unterscheiden sich dabei hinsichtlich der Fläche, die für ihre Realisierung auf den Siliziumwafern benötigt wird. Herstellungsprozesse bei denen 100-orientierte Siliziumplatten genutzt werden, haben dabei einen größeren Flächenbedarf, wenn die 111-Kristallebenen, die einen Winkel von  $54,75^\circ$  zur 100-Oberfläche einnehmen, bei der Ätzung der Ausnehmungen genutzt werden. Dieser erhöhte Flächenbedarf von 100-orientiertem Silizium läßt sich verringern, wenn bei der Ätzung neben den 111-Kristallebenen, die einen Winkel von  $54,74^\circ$  zur 100-Oberfläche aufweisen, auch die 100-Kristallebenen genutzt werden, die rechtwinklig zur 100-Oberfläche der Siliziumwafer sind. Ein Beispiel für diesen Ätzprozeß ist beispielsweise in den Fig. 11 bis 14 dargestellt. Bei der Verwendung von 110-Siliziumwafern ist der Flächenbedarf wegen der senkrechten Ätzwände besonders gering, dafür muß eine leichte Unsymmetrie des Designs des Massenflußsensors in Kauf genommen werden, was jedoch die Funktion der Massenflußsensoren nicht wesentlich stört. Die Ausrichtung der Massenflußsensoren auf Siliziumwafern wird in den Fig. 17 bis 19 gezeigt.

In der Fig. 17 ist eine Siliziumwafer mit einer 100-orientierten Oberfläche gezeigt. Auf dieser Oberfläche sind Massenflußsensoren gezeigt, die unter Nutzung der 111-Kristallebenen, die einen Winkel von  $54,74^\circ$  zur Oberfläche des Siliziumwafers 70 aufweisen, hergestellt sind. Dabei handelt es sich um die Massenflußsensoren der Fig. 1 bis 3, wobei die hier gezeigte Ansicht von unten auf die Ausnehmungen 16 schaut. In äquivalenter Weise werden die Massenflußsensoren der Fig. 4 bis 10, die ebenfalls die 111-Kristallebenen, die einen Winkel von ca.  $54,74^\circ$  zur 100-Oberfläche aufweisen, für die Herstellung nutzen auf dem Siliziumwafer 70 angeordnet. Durch Einbringen von Trennschnitten 73 wird der Siliziumwafer 70 in einzelne Massenflußsensoren zerlegt. In der Fig. 17 ist dies exemplarisch für einen einzelnen Massenflußsensor dargestellt.

In der Fig. 18 ist eine Siliziumwafer 72 gezeigt, dessen Oberfläche von einer 100-Kristallebene gebildet wird. Auf diesem Siliziumwafer 72 sind Massenflußsensoren angeordnet, zu deren Herstellung sowohl 111-Kristallebenen, die einen Winkel von  $54,74^\circ$  zur Oberfläche des Wafers 72 aufweisen, als auch 100-Kristallebenen, die rechtwinklig zur Oberfläche des Wafers 72 sind, genutzt worden sind. Die hier gezeigten Massenflußsensoren entsprechen den Massenflußsensoren der Fig. 11 bis 14. Gezeigt wird eine Ansicht der Unterseite der Ausnehmungen 17. Exemplarisch sind hier wieder für einen einzelnen Massenflußsensor die Trennschnitte 73 gezeigt, mit denen der einzelne Massenflußsensor aus dem Siliziumwafer (72) herausgetrennt wird. Wegen des geringeren Flächenbedarfs der Massenflußsensoren nach den Fig. 11 bis 14 können auf dem Siliziumwafer 72 mehr Massenflußsensoren angeordnet werden, als auf dem Siliziumwafer 70.

In der Fig. 19 wird eine Siliziumwafer 75 gezeigt, des-

sen Oberfläche von einer 110-Kristallebene gebildet wird. Auf dem Siliziumwafer 75 sind Massenflußsensoren nach den Fig. 15 und 16 angeordnet. Gezeigt wird eine Unteransicht auf die Ausnehmungen 18. Wegen des geringeren Flächenbedarfs der Massenflußsensoren nach den Fig. 15 und 16 können im Vergleich zum Wafer 70 der Fig. 17 mehr Massenflußsensoren auf dem Wafer 75 angeordnet werden. Exemplarisch sind wieder die zum Vereinzeln eines Massenflußsensors notwendigen Trennschnitte 73 gezeigt.

Es ist für einen Fachmann ein leichtes, zusätzlich zu den hier vorgestellten Ausführungsbeispielen, andere Massenflußsensoren zu finden, die ebenfalls das erfindungsgemäße Prinzip nutzen. Beispielsweise kann ein isothermer Balken nach der Fig. 4a oder 6 mit einer Membraneometrie der Fig. 16 kombiniert werden.

#### Patentansprüche

1. Massenflußsensor mit einem Meßelement (1) auf einer Membran (3) an dem ein Medium vorbeiströmt, wobei das Meßelement (1) gegenüber dem Medium eine höhere Temperatur aufweist und aus dem Wärmeübergang in das Medium die Stärke der Strömung des Mediums mißt, und mit einem Medientemperaturmeßelement (2), das die Temperatur des Mediums mißt, wobei in Abhängigkeit von der Temperatur des Mediums die Messung des Mediumstroms korrigiert oder die Temperatur des Meßelementes (1) verändert wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Medientemperaturmeßelement (2) auf einer zweiten Membran (4) angeordnet ist.
2. Massenflußsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranen (3, 4) in einem Rahmen (6) aus einkristallinem Silizium aufgehängt sind, daß die Membranen (3, 4) und der Rahmen (6) aus einer Siliziumplatte (7) mit einer Membranschicht (9) auf der Oberseite (21) herausstrukturiert sind, indem in die Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) mindestens eine Ausnehmung (16, 17, 18, 19) die bis zur Membranschicht (9) reicht, eingebracht ist, und daß zwischen Meßelement (1) und Medientemperaturmeßelement (2) ein isothermes Element angeordnet ist.
3. Massenflußsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das isotherme Element als Balken (10) auf der Oberseite (21) der Membran (3, 4) ausgebildet ist.
4. Massenflußsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das isotherme Element als Schlitz (11) in der Membran (3, 4) ausgebildet ist.
5. Massenflußsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das isotherme Element als Siliziumbalken (12), mit einer Dicke, die geringer als die Dicke des Rahmens (6) ist, ausgebildet ist.
6. Massenflußsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Siliziumbalken (12) eine andere Dotierung als der Rahmen (6) aufweist.
7. Massenflußsensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Siliziumbalken (12) die gleiche Dotierung aufweist wie der Siliziumrahmen (6).
8. Massenflußsensor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in die Siliziumplatte (7) zwei Ausnehmungen (16, 17, 18), die bis zur Membranschicht (9) reichen, eingebracht sind, daß zu jeder Membran (3, 4) eine Ausnehmung (16, 17, 18) gehört, und daß das isotherme Element als Silizium-

balken (13, 14, 15) in der Dicke der Siliziumplatte (7) ausgebildet ist.

9. Massenflußsensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 100-Fläche ist, daß die Ränder (2) der Ausnehmung (16) auf der Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) jeweils ein Rechteck, vorzugsweise ein Quadrat, bilden, daß die Ränder (20) dieser Rechtecke auf jeweils einer 111-Fläche der Siliziumplatte (7) liegen, wobei diese 111-Flächen einen Winkel von ca. 54,7 Grad zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte bilden, und daß die beiden Rechtecke so angeordnet sind, daß die Seiten der Rechtecke parallel zueinander sind.

10. Massenflußsensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 100-Fläche ist, daß die Ränder (101 bis 106) der Ausnehmungen (17) auf der Rückseite der Siliziumplatte (7) jeweils ein Sechseck bilden, daß der erste Rand (101) einen Winkel von 90 Grad zum daran anschließenden zweiten Rand (102) bildet, daß der zweite Rand (102) einen Winkel von 135 Grad zum daran anschließenden dritten Rand (103) bildet, daß der dritte Rand (103) einen Winkel von 135 Grad zum daran anschließenden vierten Rand (104) bildet, daß der vierte Rand (104) einen Winkel von 90 Grad zum daran anschließenden fünften Rand (105) bildet, daß der fünfte Rand (105) einen Winkel von 135 Grad zum daran anschließenden sechsten Rand (106) bildet, daß der sechste Rand (106) einen Winkel von 135 Grad zum ersten Rand (101) bildet, daß der erste, zweite, vierte und fünfte Rand (101, 102, 104, 105) auf einer jeweils einer 111-Fläche der Siliziumplatte (7) liegen, wobei diese 111-Flächen einen Winkel von ca. 54,7 Grad zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte (7) bilden, daß der dritte und der sechste Rand (103, 106) auf jeweils einer 100-Fläche liegen, die senkrecht zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte (7) sind, und daß die Ausnehmungen (17) so angeordnet sind, daß der dritte bzw. der sechste Rand (103, 106) der beiden Ausnehmungen (17) zueinander parallel sind.

11. Massenflußsensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 110-Fläche ist, daß die Ränder (201 bis 204) der Ausnehmungen (18) auf der Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) jeweils ein Parallelogramm bilden, daß der erste Rand (201) einen Winkel von ca. 109,5 Grad zum daran anschließenden zweiten Rand (202) bildet, daß der zweite Rand (202) einen Winkel von ca. 70,5 Grad zum daran anschließenden dritten Rand (203) bildet, daß der dritte Rand (203) einen Winkel von ca. 109,5 Grad zum daran anschließenden vierten Rand (204) bildet, daß der vierte Rand (204) einen Winkel von ca. 70,5 Grad zum ersten Rand (201) bildet, daß die Ränder (201 bis 204) auf jeweils einer 111-Fläche der Siliziumplatte liegen, die senkrecht zur 110-Oberfläche der Siliziumplatte (7) sind, und daß die Ausnehmungen (18) so angeordnet sind, daß die Seiten der beiden Vierecke parallel zueinander sind.

12. Massenflußsensor nach einem der Ansprüche 2 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Siliziumrahmen (6) Anschlüsse (5) und Leiterbahnen (8) angeordnet sind, die zur elektrischen Kontaktierung des Meßelements (1) und Medientemperaturmeßelements (2) dienen.

13. Massenflußsensor nach Anspruch 12, dadurch

gekennzeichnet, daß das Meßelement (1) und das Medientemperaturmeßelement (2) im Medienstrom nebeneinander angeordnet sind, und daß die Anschlüsse (5) für Meßelement (1) und Medientemperaturmeßelement (2) relativ zum Medienstrom beide auf derselben Seite der Siliziumplatte (7) neben dem Meßelement (1) oder dem Medientemperaturmeßelement (2) angeordnet sind.

14. Verfahren zur Herstellung eines Massenflußsensors, wobei auf der Oberseite (21) einer Siliziumplatte (7) eine Membranschicht (9) erzeugt wird, wobei auf der Membranschicht (9) Strukturen für ein Meßelement (1) und ein Medientemperaturmeßelement (2) erzeugt werden, wobei das Meßelement (1) gegenüber dem Medium eine höhere Temperatur aufweist und aus dem Wärmeübergang in das Medium die Strömung des Mediums mißt, wobei das Medientemperaturmeßelement (2) die Temperatur des Mediums mißt, wobei in die Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) durch anisotropes Ätzen eine Ausnehmung (19) eingebracht wird, die bis zur Membranschicht (9) reicht, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausnehmung (19) den Bereich der Siliziumplatte (7) unterhalb von Meßelement (1) und Medientemperaturmeßelement (2) umfaßt, und daß Strukturen für ein isothermes Element, welches zwischen Meßelement (1) und Medientemperaturmeßelement (2) angeordnet ist, erzeugt werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß für das isotherme Element ein Balken (10) auf der Oberseite (21) der Membranschicht (9) erzeugt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß für das isotherme Element ein Schlitz (11) in die Membranschicht (9) eingebracht wird.

17. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß für das isotherme Element vor dem Erzeugen der Membranschicht (9) Dotierstoffe in Teile der Oberseite (21) der Siliziumplatte (7) eingebracht werden, und daß die Dotierung und der Ätzprozeß so gewählt sind, daß das dotierte Silizium beim Ätzen der Ausnehmung (19) nicht geätzt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ätzen der Ausnehmung (19) eine erste Ätzmaske (30) und eine zweite Ätzmaske (31) auf der Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) aufgebracht wird, daß der Bereich der den Rahmen (6) bildet, von der ersten Ätzmaske (30) und der zweiten Ätzmaske (31) bedeckt wird, daß der Bereich der das isotherme Element bildet, mit der ersten Ätzmaske (30) bedeckt wird, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 100-Oberfläche ist, daß die Ränder der ersten Ätzmaske (30) und der zweiten Ätzmaske (31) jeweils auf 111-Flächen liegen, die einen Winkel von ca. 54,7 Grad zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte (7) einnehmen, daß in einem ersten Ätzschritt ein Ätzvorsprung (32) in die Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) eingeätzt wird, daß danach die erste Ätzmaske (30) entfernt wird, daß dann in einem zweiten Ätzschritt die Ausnehmung (19) bis zur Membranschicht (9) eingeätzt wird, wobei der zweite Ätzschritt beendet wird sobald der Ätzvorsprung (32) die Membranschicht (9) erreicht hat.

19. Verfahren zur Herstellung eines Massenflußsensors, wobei auf der Oberseite (21) einer Silizi-



umplatte (7) eine Membranschicht (9) erzeugt wird, wobei auf der Membranschicht (9) Strukturen für ein Meßelement (1) und ein Medientemperaturmeßelement (2) erzeugt werden, wobei das Meßelement (1) gegenüber dem Medium eine höhere Temperatur aufweist und aus dem Wärmeübergang in das Medium die Strömung des Mediums mißt, wobei das Medientemperaturmeßelement die Temperatur des Mediums mißt, dadurch gekennzeichnet, daß in die Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) durch anisotropes Ätzen mindestens zwei Ausnehmungen (16, 17, 18) eingeätzt werden, die bis zur Membranschicht (9) reichen, und daß eine der Ausnehmungen (16, 17, 18) unter dem Meßelement (1) und eine der Ausnehmungen (16, 17, 18) unter dem Medientemperaturmeßelement (2) angeordnet ist.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 100-Fläche ist, daß die Ränder (2) der Ausnehmung (16) auf der Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) jeweils ein Rechteck, vorzugsweise ein Quadrat, bilden, daß die Ränder (20) dieser Rechtecke auf jeweils einer 111-Fläche der Siliziumplatte (7) liegen, wobei diese 111-Flächen einen Winkel von ca. 54,7 Grad zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte bilden, und daß die beiden Rechtecke so angeordnet sind, daß die Seiten der Rechtecke parallel zueinander sind.

21. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 100-Fläche ist, daß die Ränder (101 bis 106) der Ausnehmungen (17) auf der Rückseite der Siliziumplatte (7) jeweils ein Sechseck bilden, daß der erste Rand (101) einen Winkel von 90 Grad zum daran anschließenden zweiten Rand (102) bildet, daß der zweite Rand (102) einen Winkel von 135 Grad zum daran anschließenden dritten Rand (103) bildet, daß der dritte Rand (103) einen Winkel von 135 Grad zum daran anschließenden vierten Rand (104) bildet, daß der vierte Rand (104) einen Winkel von 90 Grad zum daran anschließenden fünften Rand (105) bildet, daß der fünfte Rand (105) einen Winkel von 135 Grad zum daran anschließenden sechsten Rand (106) bildet, daß der sechste Rand (106) einen Winkel von 135 Grad zum ersten Rand (101) bildet, daß der erste, zweite, vierte und fünfte Rand (101, 102, 104, 105) auf jeweils einer 111-Fläche der Siliziumplatte (7) liegen, wobei diese 111-Flächen einen Winkel von ca. 54,7 Grad zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte (7) bilden, daß der dritte und der sechste Rand (103, 106) auf jeweils einer 100-Fläche liegen, die senkrecht zur 100-Oberfläche der Siliziumplatte (7) sind, und daß die Ausnehmungen (17) so angeordnet sind, daß der dritte bzw. der sechste Rand (103, 106) der beiden Ausnehmungen (17) zueinander parallel sind.

22. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Siliziumplatte (7) eine 110-Fläche ist, daß die Ränder (201 bis 204) der Ausnehmungen (18) auf der Unterseite (22) der Siliziumplatte (7) jeweils ein Parallelogramm bilden, daß der erste Rand (201) einen Winkel von ca. 109,5 Grad zum daran anschließenden zweiten Rand (202) bildet, daß der zweite Rand (202) einen Winkel von ca. 70,5 Grad zum daran anschließenden dritten Rand (203) bildet, daß der dritte Rand (203) einen Winkel von ca. 109,5 Grad zum daran an-

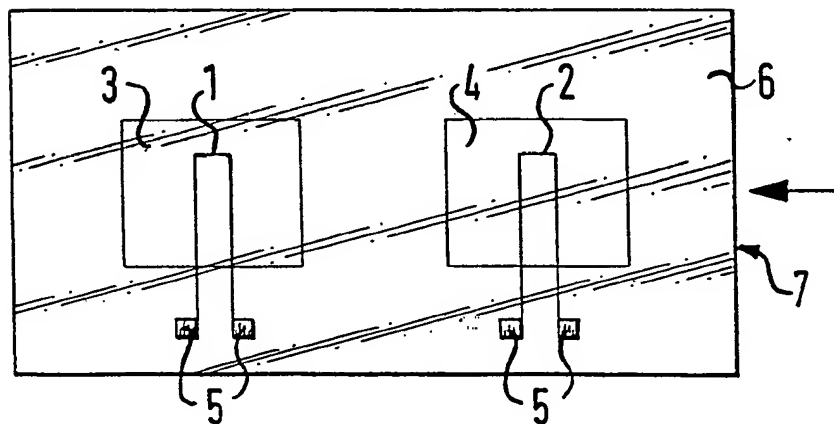
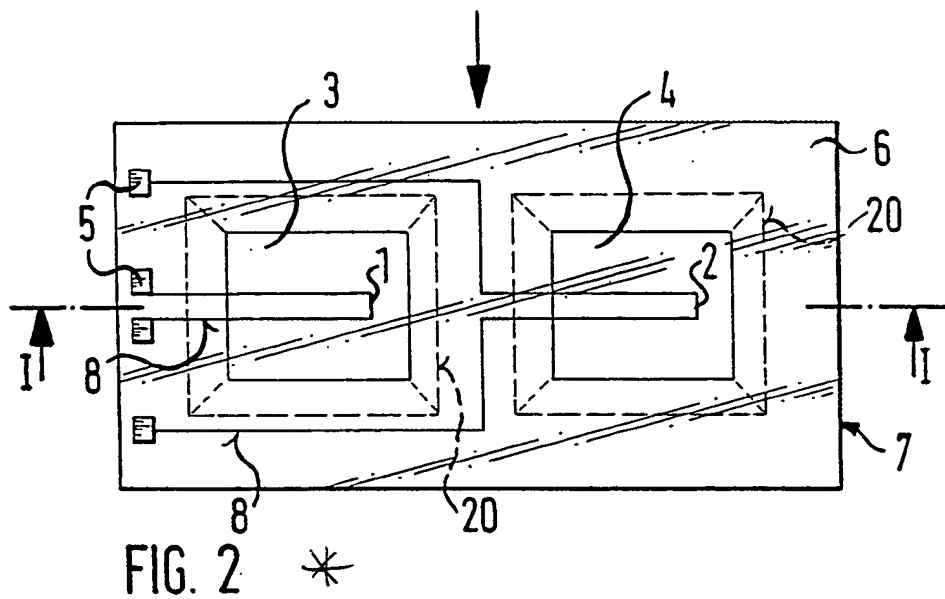
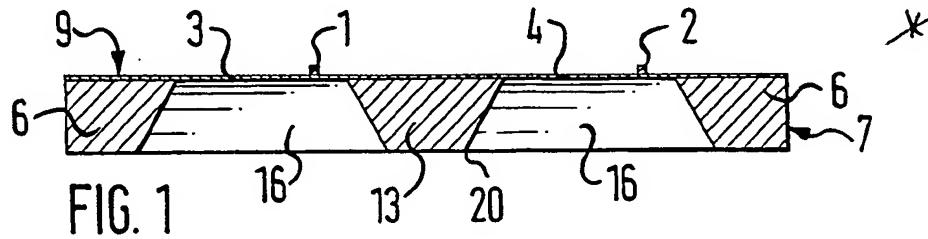
schließenden vierten Rand (204) bildet, daß der vierte Rand (204) einen Winkel von ca. 70,5 Grad zum ersten Rand (201) bildet, daß die Ränder (201 bis 204) auf jeweils einer 111-Fläche der Siliziumplatte liegen, die senkrecht zur 110-Oberfläche der Siliziumplatte (7) sind, und daß die Ausnehmungen (18) so angeordnet sind, daß die Seiten der beiden Parallelogramme parallel zueinander sind.

---

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -



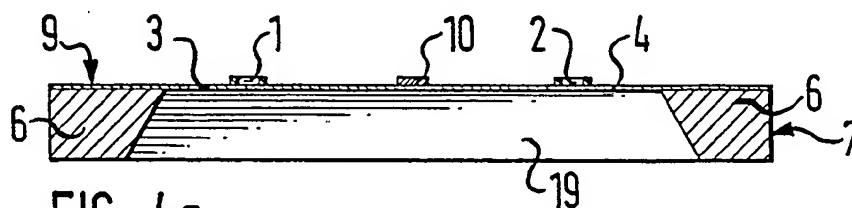


FIG. 4a

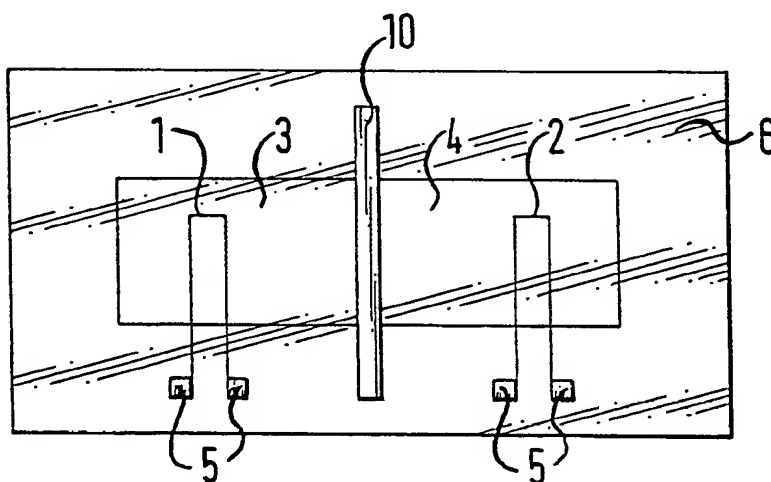
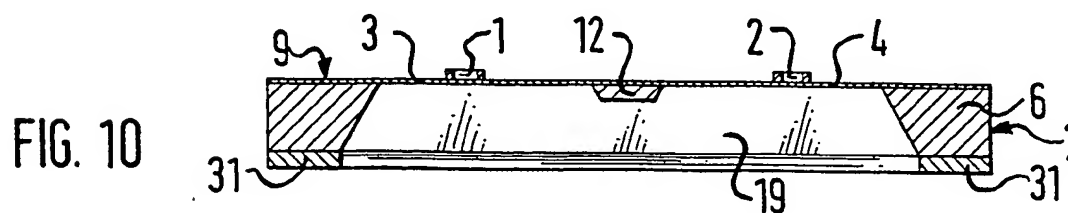
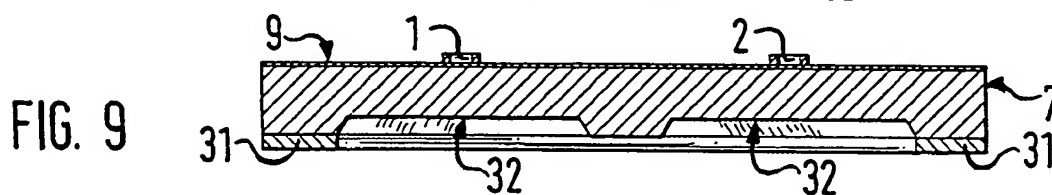
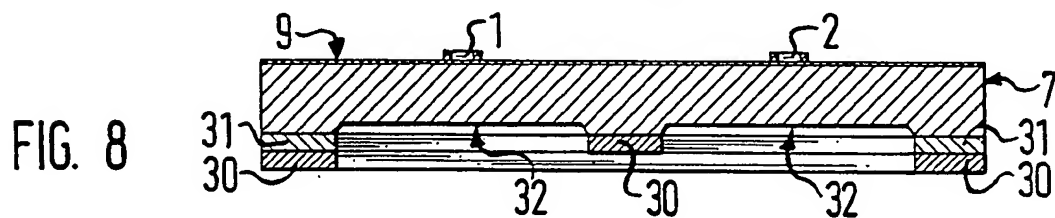
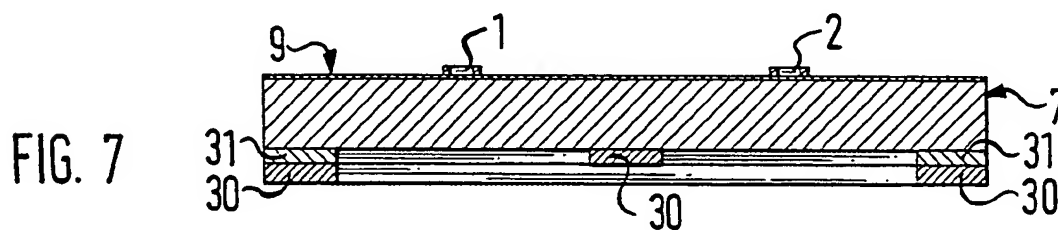
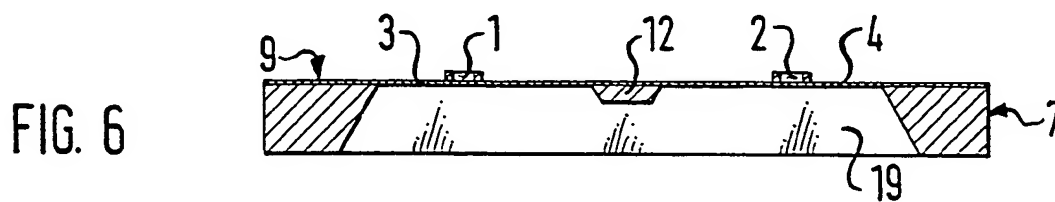
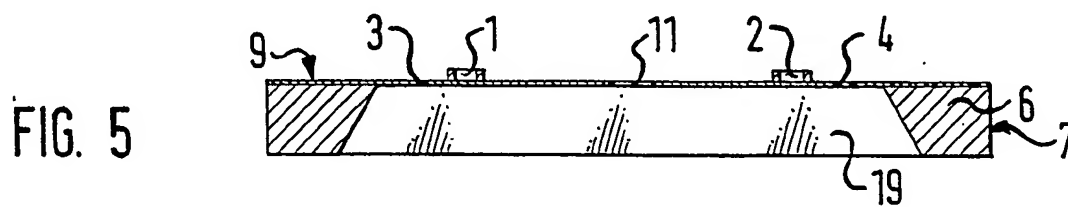
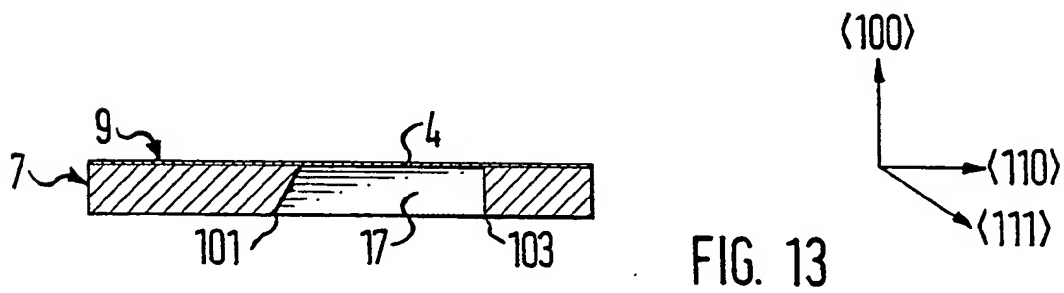
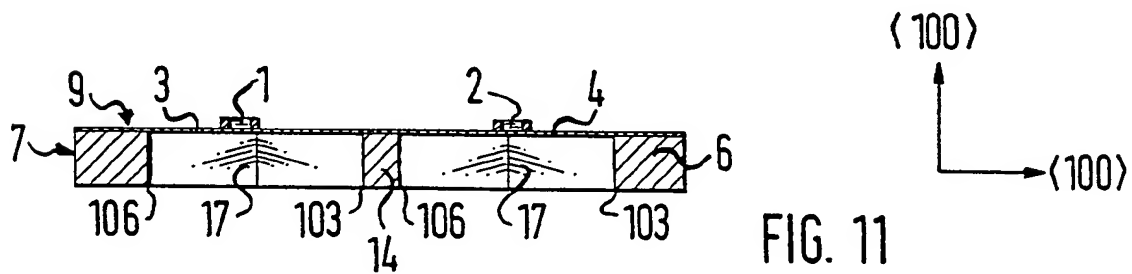
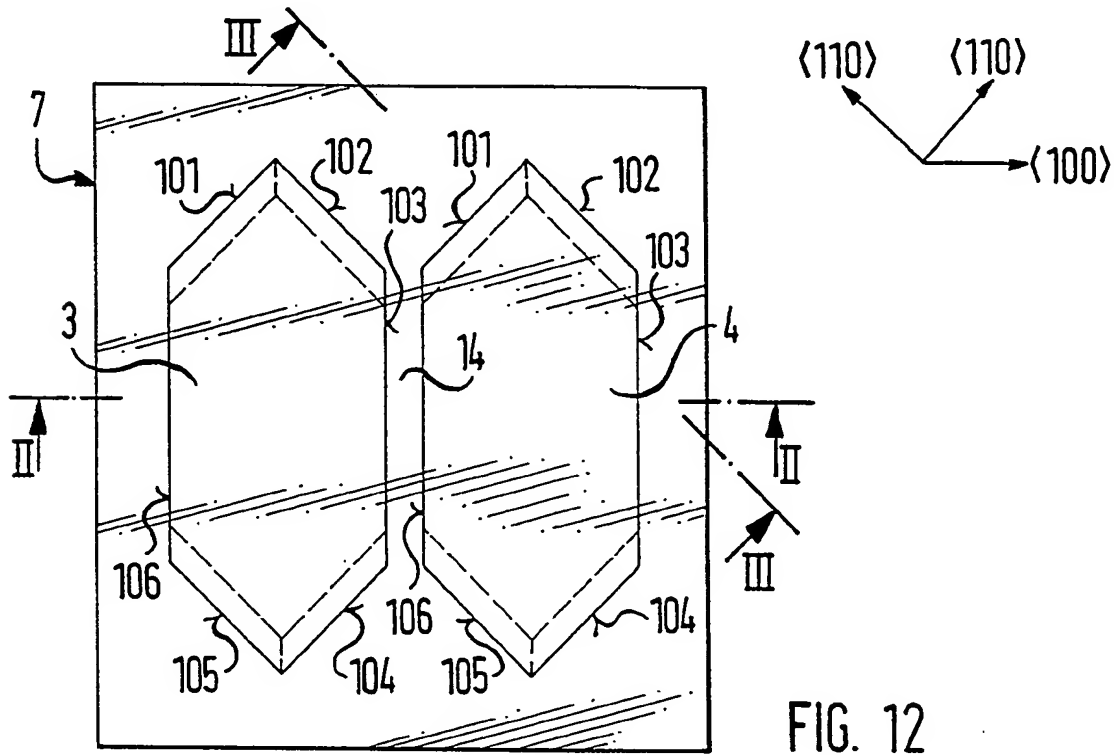


FIG. 4b







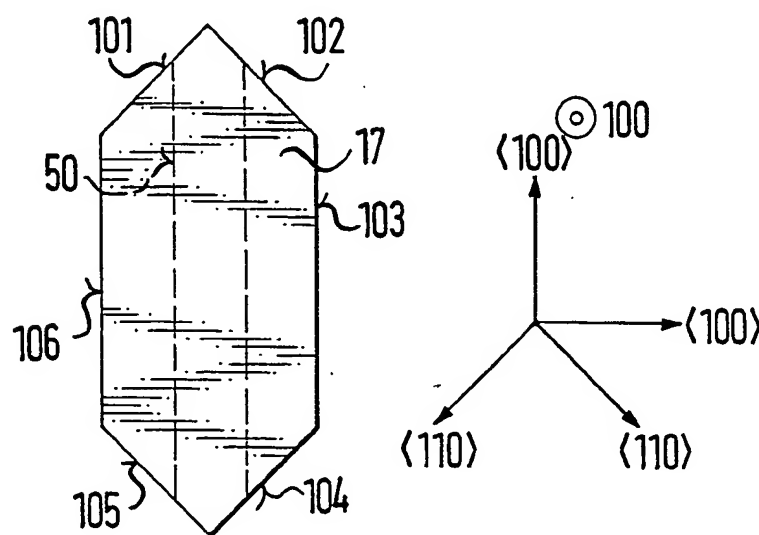
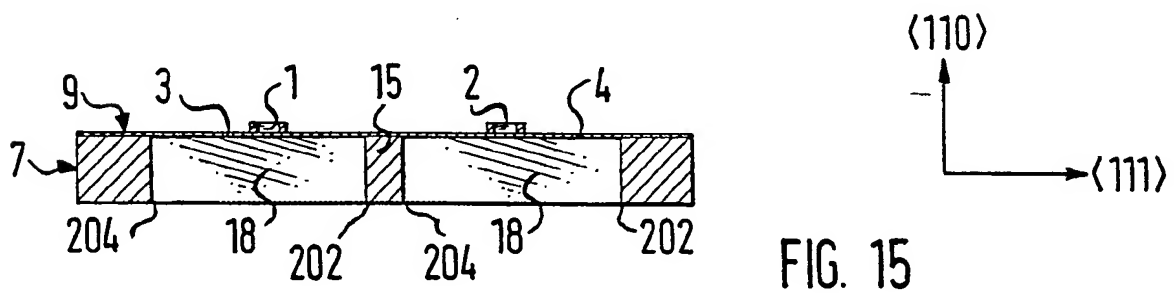
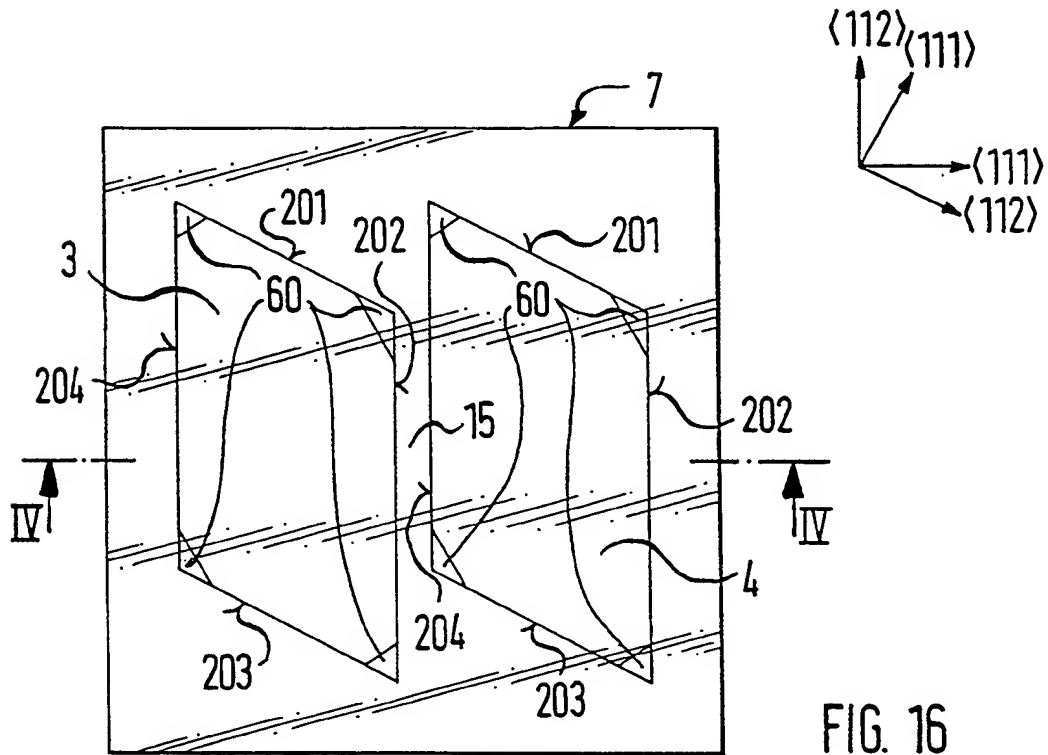


FIG. 14



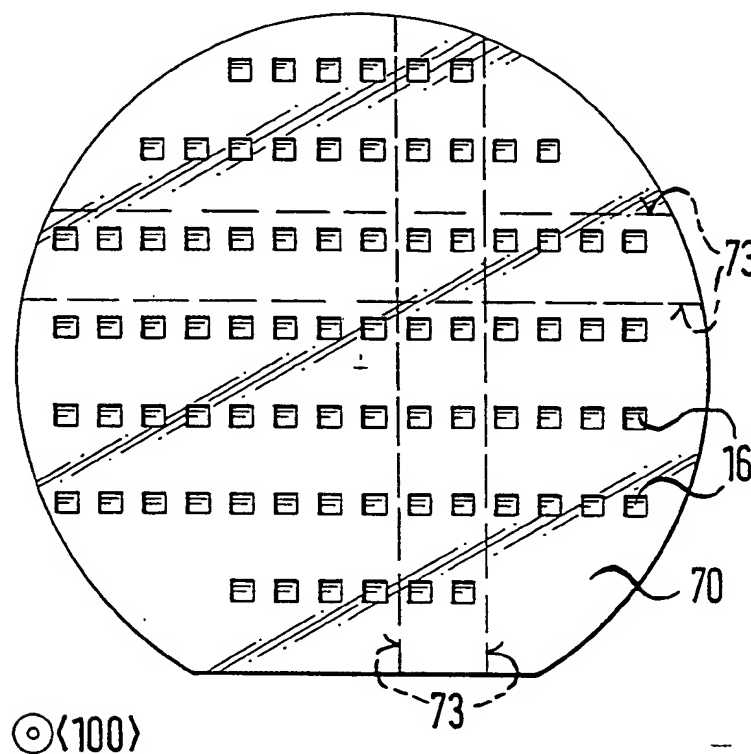


FIG. 17

